Über den Einfluss der Kohlensäure auf das Ergrünen und Wachsthum der Pflanzen.

Von Dr. **Jos. Boehm.**

Die grosse Menge fossiler Kohle lässt es wohl zweifellos erscheinen, dass in früheren Erdperioden der Pflanzenwuchs viel üppiger war, denn heutzutage. Als Ursache hiefür glaubt man (abgesehen von den die Physiognomie des Continentes so sehr verändernden Eingriffen des Menschen) annehmen zu dürfen, dass in jenen längst entschwundenen Zeiten kosmische und meteorologische Verhältnisse bestanden, welche der Vegetation besonders günstig waren, dass insbesonders, was auch mit anderen geologischen Verhältnissen im Einklange steht, die Atmosphäre damals viel reicher an Kohlensäure gewesen sei, als jetzt. Allerdings hat schon Saussure gefunden, dass am Licht gezogene Bohnenpflänzchen in einer Atmosphäre, welche $^1/_8$ ihres Volumens Kohlensäure enthielt, selbst im Sonnenlichte weniger gut gediehen, als in einer Luft, die nur zum zwölften Theile aus Kohlensäure bestand [1]. Seit den aber zuerst von Boussingault [2] gemachten und seither oft wiederholten Versuchen [3] über die

[1] „Recherches chimiques sur la végétation". — Saussure führt weiter an, dass in einer Atmosphäre, welche den vierten Theil ihres Volumens Kohlensäure enthielt, sich die Versuchspflanzen zehn Tage erhielten, „mais elles ont peu prospéré". Sieben Tage erhielten sich die Pflänzchen in einer zur Hälfte aus Kohlensäure bestehenden Luft, nach dieser Zeit hörten sie auf zu vegetiren. In reiner Kohlensäure, sowie in einer Atmosphäre, welche zu $^3/_4$ oder $^2/_3$ ihres Volumens aus Kohlensäure bestand, verwelkten die Pflanzen noch am selben Tage.

[2] Compt. rend., tom. 60, pag. 872; 1865.

[3] Nach einer Mittheilung von Dumas fand Hervé-Mangon, dass ein Exemplar von *Juniperus nana* in einer feuchten, zur Hälfte aus Kohlensäure bestehenden Atmosphäre besser gedieh als die Vergleichsobjecte in freier Luft und schliesst daraus, dass die Kohlensäure in dieser hohen Dosis für die Pflanzen unschädlich sei. Compt. rend. 1869, tom. 69, pag. 412. — Naturforscher, 1869, pag. 362.

Function grüner Blätter in an Kohlensäure reicher Luft gewann obige Hypothese von pflanzenphysiologischer Seite eine mehr sichere Basis. Selbst die Meinung, dass aller Sauerstoff der Erdatmosphäre erst im Laufe der Zeiten durch grüne Pflanzen aus Kohlensäure abgeschieden wurde, hat ihre Vertreter gefunden.

Auffallende Erscheinungen, welche ich beim Studium der Frage über die Sauerstoffconsumtion keimender Samen beobachtete und welche mit obiger Ansicht in entschiedenem Widerspruche standen, bestimmten mich, den Einfluss der Kohlensäure auf zwei sehr wichtige und relative leicht controlirbare Functionen, nämlich auf das Keimen von Samen und auf das Ergrünen von vergeilten Keimpflänzchen näher zu untersuchen.

Zu den Versuchen über den Einfluss der Kohlensäure auf die Chlorophyllbildung zog ich mir im Dunkeln Pflänzchen aus folgenden Öl oder Stärke führenden Samen: Helianthus annuus, Lepidum sativum, Linum usitatissimum, Papaver somniferum, Avena sativa, Hordeum vulgare, Secale cereale, Triticum repens und Zea Mays [1].

Von jeder Art band ich, nach Massgabe ihrer Grösse, 10 bis 50 Individuen in Büschel, befestigte selbe der Reihe nach an einen ziemlich starken Eisendraht und schob diesen in kalibrirte Flaschen von 1500—1600 CC. Inhalt [2]; die umgestürzten Flaschen wurden sodann mit dem Halse in ein Wasserbecken getaucht, der grösste Theil der Luft mittelst eines Kautschuckschlauches ausgesaugt, aus kalibrirten Röhren bestimmte Mengen gut gerei-

---

[1] Da vergeilte ältere Keimpflänzchen selbst unter den günstigsten Bedingungen nur langsam und oft nur unvollständig (oder selbst gar nicht mehr) ergrünen, die Samen der angeführten Gattungen sich aber nicht gleich schnell entwickeln, so wurden zu einer und derselben Versuchsreihe Pflänzchen verschiedenen Alters gewählt. Am jüngsten waren immer die Kress- und die Mohnpflänzchen; sie waren je nach der Jahreszeit, d. i. der Temperatur, bei welcher die Versuche gemacht wurden, 5 bis 10 Tage alt. Älter als diese waren um 1—3 Tage die Getreidearten, um 2 bis 4 Tage die Lein-, um 4 bis 14 Tage die Maispflänzchen und die von Helianthus.

[2] Zu den Versuchen wurden so grosse Gefässe deshalb gewählt, um zu verhindern, dass in Folge der Respiration der Pflänzchen die Luft wesentlich reicher an Kohlensäure wurde, als für einen speciellen Fall beabsichtigt war.

nigter Kohlensäure und $^{1}/_{5}$ Volumen von dieser Sauerstoff eingefüllt und der Rest des Wassers durch atmosphärische Luft verdrängt. Die Flaschen wurden sodann mit ihrem Halse in Trinkgläser von geeigneter Grösse gesteckt, aus dem Wasserbehälter gehoben und ein Theil des Wassers in den Trinkgefässen durch Quecksilber verdrängt.

Zu jeder Versuchsreihe, deren ich, mit Abzug der Vorversuche, drei in gleicher Weise und mit wesentlich gleichen Resultaten gemacht habe, wurden 10 Flaschen verwendet, welche enthielten:

Nr.	0:	atmosphärische Luft ohne Kohlensäure				
„	I.:	„	„	mit 2	Procent	Kohlensäure.
„	II:	„	„	„ 5	„	„
„	III:	„	„	„ 10	„	„
„	IV:	„	„	„ 14	„	„
„	V:	„	„	„ 17	„	„
„	VI:	„	„	„ 20	„	„
„	VII:	„	„	„ 25	„	„
„	VIII:	„	„	„ 33	„	„
„	IX:	„	„	„ 50	„	„

Die Apparate wurden bei einer Temperatur von 15° bis 22° C. dem diffusen Tageslichte ausgesetzt.

Um dem Leser ein klares Bild über den Einfluss der Kohlensäure auf das Ergrünen vergeilter Pflänzchen zu geben, glaube ich am besten zu thun, wenn ich die bei einer der Versuchsreihen protokollirten Erscheinungen in den Hauptzügen anführe.

Die Samen der hierbei verwendeten Pflänzchen wurden auf nass erhaltene, flache Tassen an folgenden Apriltagen l. J. gebaut: Zea am 8., Helianthus am 14., Linum am 17., Hafer, Gerste, Weizen und Roggen am 19., Kresse und Mohn am 21. Am 26. April wurden die im Dunkelkasten bei einer Temperatur von 14° bis 16° C. gewachsenen Pflänzchen in halb verdunkeltem Zimmer in Büschel gebunden; dazu wurden für je ein Büschel von Zea 10, von Helianthus 15, von den Getreidearten je 25, von Lepidium und Papaver je 40 bis 50 gesunde Individuen ausgewählt. Bei Helianthus mussten die Samenschalen in der Regel von den Cotylen losgelöst werden, was natürlich mit

geeigneter Vorsicht geschah. — Am 27. April wurden diese Büschel an die Eisendrähte befestigt, in die Flaschen eingeführt und diese in der oben beschriebenen Weise gefüllt. Um 9 Uhr wurden die Apparate gleichzeitig der Reihe nach auf einem nicht von directem Sonnenlichte beschienenen Fenster aufgestellt.

Bei der nun folgenden Beschreibung des successiven Ergrünens der Versuchspflänzchen in den zehn Apparaten (0, I, II—IX) will ich der Kürze halber die Gramineen mit Gr., Helianthus mit H., die Kresse mit K., den Mohn mit M. und Linum mit L. bezeichnen.

Um 11 Uhr, d. i. nach 2 Stunden, zeigten die Pflänzchen folgende Färbung.

A) In 0. d. i. in atmosphärischer Luft:

Gr., H. und L. waren bereits ziemlich grün.

Bei K. und M. zeigten sich deutliche Spuren der Ergrünung.

B) In kohlensäurehältiger Luft:

Die Färbung von Gr. war in I nicht merklich verschieden von der in 0, merklich blasser waren aber die meisten Exemplare bereits in III, hatten aber selbst in VIII noch einen schwach grünen Anflug.

L. und M. waren in 0 und I gleich intensiv, d. i. gleich schwach grünlich, in II aber schon viel blasser. Auch in VI hatten sie einen deutlichen, wenn auch nur sehr zart grünen Anflug, in VII kaum eine grünliche Spur.

H. und K., besonders K., waren schon in I viel blasser als in 0, in III waren sie noch völlig ungefärbt.

Färbung der Pflänzchen um 1 Uhr. d. i. nach vierstündiger Beleuchtung.

A) In 0, d. i. in atmosphärischer Luft:

Alle Pflänzchen sind, wenn auch nicht sehr intensiv, grün.

B) In kohlensäurehältiger Luft:

Die Ergrünung der Gramineen reicht auch jetzt nur bis inclusive VIII und ist hier seit den zwei letzten Stunden nicht merklich vorgeschritten.

Die Pflänzchen von L. und M. sind in II fast ebenso grün, als in atmosphärischer Luft, in den folgenden Apparaten stufenweise blasser und haben auch in VII. einen deutlich grünen Anflug.

Von H. haben mehrere Exemplare in V einen sehr schwach grünen Anflug. — K. ist in I noch merklich blasser als in 0 und zeigt in V noch keine Spur des Ergrünens.

Färbung der Pflänzchen um 7 Uhr Abends. d. i. nach zehnstündiger Beleuchtung.

A) In 0, d. i. in atmosphärischer Luft:
Alle Pflänzchen sind sattgrün.

B) In kohlensäurehältiger Luft:
Die Färbung der Gramineen ist in I und II von der in 0 nicht verschieden; bei den Pflänzchen in III sind die Blattspitzen öfters noch gelblich, bei denen in IV noch ganz blass. Die mittleren Blattheile zeigen selbst noch in IX einen merklich grünen Anflug.

L. und M. sind in I und II und zum grössten Theile auch in III ebenso intensiv grün, wie in 0, in IV aber schon im Ganzen auffallend blasser. Deutliche Spuren der Ergrünung zeigen diese Pflänzchen selbst noch in VIII, in IX aber kaum einen zarten grünen Hauch.

H. ist in III schon sichtlich blassgrüner als in 0, I und II, und in VII noch vollständig blass.

K. war in I nicht minder grün als in 0, in II waren nur wenige Exemplare sattgrün. In V hatte die Mehrzahl der Pflänzchen einen sehr schwach grünlichen Anflug, die übrigen aber waren noch völlig bleich. In VII, VIII und besonders in IX waren die Pflänzchen noch grösstentheils blasser, als bei Beginn des Versuches.

Am 28. April, um 7 Uhr früh, wurden die Flaschen frisch gefüllt. Am Abende desselben Tages war die Ergrünung der nach zehnstündiger Beleuchtung mehr weniger blass gebliebenen Pflänzchen nicht merklich vorgeschritten.

Am 29. April, 9 Uhr Morgens, wurden die Pflänzchen in freier Luft dem Lichte exponirt.

Am 1. März, um 7 Uhr Abends, war in der Färbung der Pflänzchen von 0, I, II und III kein Unterschied bemerkbar. Von den Pflänzchen aus IV war K. wohl ganz grün, aber im Vergleiche mit denen der vorhergehenden Nummern viel blasser. Von K. aus VI waren die meisten Pflänzchen sehr blassgrün, mehrere

aber noch ganz blass. Diese starben in den nächsten Tagen, während erstere nach und nach ziemlich grün wurden, mit Ausnahme von nur zwei Exemplaren, welche sich endlich sattgrün färbten. Die Kresspflänzchen aus VII starben alle, ohne zu ergrünen.

H. aus VIII war am 1. März Abends sehr blassgrün; vier Exemplare starben, ohne zu ergrünen, auch die übrigen erholten sich, mit Ausnahme von drei Pflänzchen, welche sich später intensiv grün färbten, nicht mehr vollständig.

M. aus IX war nach zwei Tagen blassgrün, verfaulte aber dann, ohne sich weiter zu entwickeln.

Die Gramineen aus IV waren am 1. März von denen aus 0, I, II und III nicht zu unterscheiden, nur die Blattspitzen zeigten eine mehr gelbgrüne Färbung. Von den Pflänzchen aus VIII waren nur wenige ziemlich grün. Nachdem diese noch etwas gewachsen waren, begannen sie nach acht Tagen zu verfaulen. Die Gräser aus IX waren nach zwei Tagen nur schwach grün, die Blattspitzen todt. Ohne zu wachsen, verfaulten sie dann in den folgenden Tagen.

Von den bei der besprochenen Versuchsreihe verwendeten Pflanzengattungen ist die Kresse am empfindlichsten gegen die Kohlensäure; schon in einer Atmosphäre mit nur 2 Procent dieses Gases ist die Chlorophyllbildung sichtlich verlangsamt, bei Gegenwart von 20 Procent aber ganz gehindert. Viel resistenter als die Kresse gegen Kohlensäure ist Linum, dessen vergeilte Keimlinge selbst in einer Atmosphäre, welche zum dritten Theile aus Kohlensäure besteht, noch einen schwach grünen Anflug bekommen. — Die Gräser endlich zeigen Spuren einer Ergrünung selbst in einer zur Hälfte aus Kohlensäure bestehenden Luft.

Wir haben oben gesehen, dass vergeilte Keimpflanzen, welche sich längere Zeit in einer an Kohlensäure so reichen Atmosphäre befanden, dass sie im Lichte nur sehr unvollständig ergrünten, sich dann auch in freier Luft nicht mehr intensiv grün färben. In einer Atmosphäre aber, welche nur einige Procent Kohlensäure enthielt, ergrünten die Pflänzchen, selbst die Kresse nicht ausgenommen, endlich ebenso intensiv, wie in atmosphärischer Luft. Es kommt hierbei aber der Umstand in

Betracht, dass durch die bereits ergrünten Blättchen der Kohlensäuregehalt der betreffenden Atmosphäre continuirlich vermindert wird. Ob auf die schliessliche Intensität vergeilter Pflänzchen im Lichte eine 2—3 Procent hältige Atmosphäre von Einfluss sei, liesse sich entscheiden, wenn über dieselben während ihrer Beleuchtung ein Luftstrom von bezeichneter Zusammensetzung geleitet würde. Dies ist jedoch nicht so leicht, da man hierbei mit einem grösseren Luftquantum und somit mit viel Wasser operiren müsste. Ich bediente mich daher, um über die aufgeworfene Frage in's Reine zu kommen, der zu den oben beschriebenen Versuchen verwendeten Flaschen, welche mit einer 2 bis 5 Procent hältigen Atmosphäre gefüllt wurden. Die Versuche wurden mit Lein- und Kresspflänzchen, jedoch mit jeder Art für sich, gemacht, und von der Kresse nur sechs, vom Lein blos drei Individuen geeigneten Alters verwendet. Die Flaschen wurden täglich 12 Uhr Mittags mit frischer Luft gefüllt. — In Anbetracht der einerseits im Ganzen kleinen Blattoberfläche, durch deren Ergrünen gewiss nicht sehr viel Kohlensäure zerlegt wurde, sowie der Absorption eines Theiles der Kohlen säure durch das Wasser beim Füllen, und der Kohlensäurebildung bei der Respiration der Versuchspflänzchen anderseits, darf man wohl annehmen, dass sich der Kohlensäuregehalt der Luft, in welcher sich die Pflänzchen befanden, während der ganzen fünf- bis achttägigen Versuchsdauer von 2 Procent nicht wesentlich entfernte. Solche Versuche habe ich im Ganzen zehn gemacht. Bei der Kresse war das Resultat stets auffallend. Die neben und gleichzeitig in gewöhnlicher, feuchter Luft (in grossen, offenen, etwas Wasser hältigen Flaschen) dem Lichte ausgesetzten Pflänzchen wurden ausnahmslos viel intensiver grün. Bei den Leinpflänzchen war bisweilen kein Unterschied bemerkbar, in der Regel waren aber auch hier die in kohlensäurehältiger Luft ergrünten sichtlich blasser.

Wie schon oben bemerkt, werden vergeilte Keimpflänzchen, welche mehrere Tage hindurch in einer an Kohlensäure so reichen Atmosphäre eingeschlossen waren, dass sie im Lichte nur theilweise ergrünten, in dauernder Weise krankhaft afficirt. Es äussert sich dies nicht blos darin, dass selbe dann in gewöhnlicher Atmosphäre nicht mehr sattgrün werden und auf den sonst

grünen Cotylen braune Flecken bekommen, sondern sie verlieren auch die Fähigkeit weiteren Wachsthums und dieses um so vollständiger, je kohlensäurereicher die Luft war, in welcher sie sich befanden. Auch zu diesen Beobachtungen eignen sich am besten die Kresspflänzchen.

Um zu erfahren, ob vergeilte Kresspflänzchen in einer an Kohlensäure so reichen Atmosphäre, dass sie in ihr im Lichte nicht mehr ergrünen, noch negativen Geotropismus besitzen, wurden dieselben mit aufwärts gerichteten Wurzeln in die Versuchsflaschen gebracht. In einer Luft, welche 20 oder selbst 33% Kohlensäure enthielt, waren die hypocotylen Stengel der Pflänzchen nach 3 bis 4 Tagen alle aufwärts gekrümmt, in einer zur Hälfte aus Kohlensäure bestehenden Atmosphäre aber vollkommen schlaff. — Die Thatsache, dass sich Pflänzchen noch unter Bedingungen krümmen, bei welchen jedes Wachsthum (dessen sicherstes Kriterium für etiolirte Pflanzen wohl in deren Ergrünen im Lichte besteht) ausgeschlossen ist, scheint mir von besonderem Interesse zu sein.

Von einiger, wenn auch untergeordneter, Wichtigkeit schien mir die Beantwortung der Frage zu sein, wie lange (unter theilweiser Einwirkung des zerstreuten Tageslichtes) vergeilte Keimpflänzchen in einer an Kohlensäure so reichen Atmosphäre, dass die Chlorophyllbildung bereits vollständig oder fast vollständig verhindert ist, eingeschlossen sein können, um dann in freier Luft noch zu ergrünen.

Ich fand hierüber bei Kress- und Leinkeimlingen Folgendes: Wurden diese durch 24 Stunden in einer 50% hältigen Atmosphäre belassen, so färbten sich dann die Kresspflänzchen gelblichgrün oder bekamen einen schwach grünen Anflug. Von Lein ergrünten mehrere Individuen vollständig, bei vielen blieben aber die Spitzen der Keimblätter mehr weniger blass. — Nach 48stündigem Verweilen in einer zur Hälfte aus Kohlensäure bestehenden Luft wurde von den Kresspflänzchen nur mehr das eine oder andere Exemplar schwach grünlich, die übrigen blieben vollständig

blass, erhielten sich aber öfters noch mehrere Tage turgid. — Nach dreitägiger Einwirkung einer Atmosphäre von obiger Zusammensetzung starben die Kresspflänzchen in freier Luft unverzüglich. Von 30 Leinkeimlingen blieben bei einem derartigen Versuche 4 am Leben und ergrünten nach und nach ziemlich vollständig, ohne jedoch mehr zu wachsen.

Werden vergeilte Lein- oder Kresspflänzchen in kalibrirten Röhren in Wasserstoff oder Kohlensäure gebracht, so beobachtet man alsbald, in Folge der Kohlensäurebildung durch innere Athmung, eine Vergrösserung des angewendeten Gasvolumens. Nach acht- bis zehnstündigem Contacte mit den irrespirablen Gasen (deren Temperatur bei den verschiedenen Versuchen von 13 bis 24° C. variirte), ergrünten sowohl die Kress-, als Leinpflänzchen während der folgenden Tage fast vollständig. Selbst nach vierundzwanzigstündigem Verweilen in Wasserstoff oder Kohlensäure wurden sowohl von der Kresse, als vom Lein viele Exemplare ziemlich intensiv grün, bei anderen blieben die Spitzen der sonst gelbgrünen Keimblätter farblos. Manche Kresspflänzchen erhielten sich durch 8 bis 10 Tage frisch, ohne im mindesten zu ergrünen. Nach zweitägigem Aufenthalte in Kohlensäure oder Wasserstoff verfaulten die Pflänzchen in freier Luft.

Die nachtheiligen Folgen der Einwirkung irrespirabler Gase auf vergeilte Keimpflänzchen steigern sich, bei sonst gleichen Verhältnissen, mit der Temperatur. — Kohlensäure wirkt wol schädlicher als Wasserstoff, jedoch nicht in dem Grade, wie es zu vermuthen war. In beiden Gasen leiden die vergeilten Keimlinge der Kresse mehr, als die des Leines; bei diesen werden in reiner Kohlensäure vor Allem die unmittelbar unterhalb der Cotylen befindlichen Stengeltheile krankhaft afficirt.

Bekanntlich werden Culturpflanzen bei stickstoffreicher Düngung viel sattgrüner als ohne solche. Nach dem oben Mitgetheilten dürfte es nicht ganz unwahrscheinlich sein, dass dies

in Folge der Bindung der bei der Fäulniss entwickelten Kohlensäure durch Ammoniak bedingt sei.

Mit Rücksicht auf das Verhalten benetzter Samen in reinem Sauerstoffgase glaube ich anführen zu sollen, dass vergeilte Keimpflänzchen in dem genannten Medium weder merklich früher noch später ergrünen, als in atmosphärischer Luft.

Schon vor Jahren habe ich bei einer anderen Gelegenheit hervorgehoben, dass vergeilte Pflanzen am Lichte nur bei einer Temperatur ergrünen, bei welcher sie auch wachsen. Dies gilt natürlich ausser der Temperatur auch von den übrigen Bedingungen des Wachsthums. In einer Atmosphäre, in welcher wegen deren Reichthum an Kohlensäure die Chlorophyllbildung vergeilter Pflanzen sehr beeinträchtigt ist oder ganz unterbleibt, wird demnach auch die Keimung von Samen und das Wachsthum der Keimpflanzen auf Kosten der Reservestoffe mehr weniger verlangsamt oder ganz verhindert werden.

So viel ich weiss, wurden Beobachtungen über den Einfluss der Kohlensäure auf die Keimung bisher nur von Saussure gemacht. Dieser treffliche Forscher sagt: „Les graines ne germent pas dans le gaz acide carbonique. Une petite quantité de ce gaz (telle qu'un douzième) qui, mêlée à l'air atmosphérique, favorise, au soleil, la végétation des plantes développées, nuit à la germination, et elle la retarde plus, soit à la lumière, soit à l'ombre, que ne le ferait une quantité égale de gaz hydrogène ou de gaz azote". L. c. pag. 25 und 26.

Ich habe derartige Keimungsversuche mit Samen von *Phaseolus multiflorus* (bei einer Temperatur von 17—19° C.) gemacht. Zu diesem Behufe wurden die während 6—8 Stunden aufgeweichten und dann geschälten Bohnen, deren Gewicht 1·3 bis 1·4 Grm. betrug, in Glasgefässchen gebracht, deren ich mich auch bei meinen Versuchen über die Keimung von Bohnen in reinem Sauerstoffgase bediente[1]. Nachdem die Apparatchen an dem einen Ende eines ziemlich starken Eisendrahtes befestigt

[1] Sitzungsber. d. k. Akad. d. W. in Wien. Bd. 66, p. 169. Fig. 1, *B*.

waren, wurden je drei derselben in die umgestürzten, zu den oben besprochenen Versuchen verwendeten Flaschen eingeführt und diese dann in der beschriebenen Weise mit atmosphärischer Luft, Kohlensäure und Wasserstoff gefüllt. Um zu verhindern, dass in Folge der Kohlensäurebildung durch die keimenden Samen die Zusammensetzung der verwendeten Luft zu sehr alterirt werde, habe ich dieselbe während der ganzen Versuchszeit täglich erneuert. — Die Zusammensetzung der Luft in den Flaschen 0, I, II . . . IX war dieselbe wie bei den Versuchen über das Ergrünen vergeilter Keimpflänzchen. — Der Hals der Flasche 0 (mit atmosphärischer Luft) wurde, statt in Quecksilber, in ein Gefäss mit Kalilauge eingesenkt. Die Apparate standen im Dunkeln. Während der ersten vier Tage (vom 6. bis 10. April l. J.) konnte, von individuellen Verschiedenheiten abgesehen, in der Wurzelentwicklung jener Bohnen, welche frei an der Luft gezogen wurden und denen, die sich in den Apparaten 0, I, II und III befanden, kein Unterschied constatirt werden. In IV war die Radicula nach dieser Zeit bei allen drei Bohnen viel kleiner und zeigte bei denen in VII kaum noch die ersten Anzeichen der Streckung. — Am 13. April hatte sich bereits eine auffällige Verschiedenheit in der Stengelentwickelung der Keimlinge eingestellt. Es betrug nämlich die mittlere Internodienlänge der drei jungen Pflänzchen in freier Luft: 42 Mllm., in 0: 47 Mllm., in I: 29 Mllm., in II: 8 und in 3: 11 Mllm.[1] — Bei den Samen in den Flaschen von incl. IV an hatte sich das Knöspchen noch nicht merklich entfaltet; bei denen in VII betrug die mittlere Wurzellänge 5 Mllm. Zwei Bohnen in VIII und eine in IX sahen wohl sehr gesund aus, zeigten aber nicht die geringste Spur einer Keimung. Bei einer Bohne in VII mit einer 5 Mllm. langen Radicula, einer in VIII und bei zwei in IX waren die Cotylen mehr weniger faul. Da zu besorgen war, dass auch die noch lebende Bohne von IX bei längerem Verweilen in ihrem bisherigen Medium absterben würde, so wurde sie in die freie Luft gebracht.

[1] Bei einer Bohne in III streckte sich der Stengel viel rascher, als bei den Bohnen in II, daher diese Abweichung. Die mittlere Stengellänge der zwei anderen Keimlinge in III betrug 6 Mllm.

Am 18. April besassen die Keimpflanzen folgende mittlere Wurzellänge: Die frei in der Luft gezogenen 12·5 Ctm., die in 0: 13·6 Ctm.; in I: 10·5 Ctm.; in II: 7·9 Ctm.; in III: 4·6 Ctm.; die von α) und β) im Mittel 2·7 Ctm. Die Bohnen in den übrigen Apparaten waren seit den letzten fünf Tagen nicht merklich gewachsen (die in VII und VIII waren todt) und die aus IX hatte erst ein 6 Mllm. langes Würzelchen gebildet.

Die Keimlinge wurden nun alle in die freie Luft versetzt. Am 27. April betrug die mittlere Stengellänge der frei in der Luft gezogenen Pflanzen 57·6 Ctm., die der aus 0: 64·7 Ctm., bei denen aus I: 52·4 Ctm., denen aus II: 55·6 Ctm., denen aus III: 54·8 Ctm. Bei allen diesen Bohnen waren die Samenlappen fast vollständig verschrumpft. — Bei den Pflanzen aus den folgenden Apparaten waren die Cotylen noch überall frisch und turgid, die Wurzelbildung eine reichliche. Die mittlere Stengellänge betrug bei denen aus IV: 21·3 Ctm., denen aus V: 12·7 Ctm., bei denen aus VI, und zwar bei α) 5·6, bei β) 1·8 und bei γ) blos 0·7 Ctm.

Auch die Bohne aus IX hatte zahlreiche Wurzeln und einen 3·8 Ctm. langen Stengel entwickelt; die Spitzen der Cotylen waren faul. In den Achseln der Keimblätter von VI β und γ und denen von IX hatten sich Knospen angelegt.

Am 11. Mai betrug die mittlere Stengellänge bei den Pflanzen aus IV: 61·2 Ctm., bei denen aus V: 64·6 und bei der von VI α): 59·7 Ctm. Bei den Bohnen VI β) und γ) und der IX waren die Endknospen wohl frisch, aber nicht weiter gewachsen, dafür hatten sich die Seitensprossen in den Achseln der Keimblätter stark entwickelt. Die Cotylen von IV, V und VI α) waren schon sehr faltig, die von VI β) und γ) noch ganz frisch und bei denen aus IX die Fäulniss nicht fortgeschritten.

Von dauerndem Einflusse auch bei der späteren Entwicklung der Bohnenkeimlinge in freier Luft erwies sich die Wirkung der Kohlensäure auf die schliessliche Länge der ersten Internodien der vergeilten Keimpflanzen. Diese variirte bei den Pflanzen in atmosphärischer Luft und bei denen aus 0, I, II und III von 10·4 bis 13.7 Ctm., und betrug bei denen aus IV im Mittel 4·8, denen aus V: 5·6, denen aus VI, und zwar bei α): 4·6, β): 5·7 und bei γ): 0·8 Ctm. Bei der Bohne aus IX erreichte das einzige Internodium

der Hauptachse eine Länge von 4·1 Ctm. Es bleibt dabei zu beachten, dass sich der Keim zur Zeit seiner Versetzung in die freie Luft anscheinend noch in demselben Stadium der Entwicklung befand, wie beim Beginne des Versuches nach Entfernung der Samenhäute.

Die angeführten Versuche dürften, wie ich glaube, hinreichen, die auffallend schädliche Einwirkung der Kohlensäure auf das Ergrünen und Wachsthum von Samenpflanzen zu beweisen. Schon bei einer Verdünnung von 2 zu 98 macht sich ihr nachtheiliger Einfluss besonders bei der Chlorophyllbildung bemerklich. Vortheilhaft für das Wachsthum auf Kosten von Reservenahrung wirkt die Kohlensäure sicher bei keiner Verdünnung, sie kann dabei höchstens nur unschädlich sein[1]. — In einer Luft, welche bei reinem Sauerstoffgehalte, der dem der gewöhnlichen Atmosphäre entspricht, zur Hälfte aus Kohlensäure besteht, erfolgt nicht nur kein Wachsthum, sondern es starben darin die Pflanzen nach kurzer Zeit. Es ist dies um so bemerkenswerther, als grüne Blätter in einem solchen Medium noch mit bedeutender Energie die Kohlensäure zerlegen. Indem grüne Pflanzen durch ihre Befähigung, die Kohlensäure zu zerlegen, in die Lage kommen, aus unorganischem Substrate ihren Leib aufzubauen, verschaffen sie sich auch zugleich die Bedingung des Wachsthumes auf Kosten der assimilirten Stoffe. Die Zahl der Pflanzen, deren Empfindlichkeit gegen grössere Mengen von Kohlensäure nachgewiesen wurde, ist allerdings nur eine geringe. Da dieselben aber sehr verschiedenen Familien angehören und die giftige Wirkung dieses Gases (der Muttersubstanz aller organischen Körper), von der Beschaffenheit der Reservestoffe unabhängig ist, so dürfte wohl der Schluss erlaubt sein, dass sich unter gleichen Umständen alle Pflanzen in ähnlicher Weise verhalten.

---

[1] Saussure sagt l. c. pag. 26: „Remarquons cependant que, comme les graines produisent, en germant, une trop grande quantité de gaze acide pour qu'on puisse les en priver entièrement, il est impossible de décider si son absence absolue leur est nuisible ou utile."

In Anbetracht der Thatsache nun, dass die Pflanzen in einer Luft, welche nur wenige Procente Kohlensäure enthält, sichtlich kränkeln, müssen wir folgern, dass die heutige Pflanzenwelt in einer Atmosphäre, welche nicht viel reicher als die bestehende wäre, wenigstens theilweise zu Grunde gehen würde. Daraus ergibt sich aber zweierlei: Entweder ist die Zusammensetzung der Atmosphäre unserer Erde von jeher dieselbe gewesen, was eine nothwendige Folge ihrer Unbegrenztheit wäre, oder es haben (was ich für weniger wahrscheinlich halte) in früheren Erdperioden Pflanzen existirt, welche einen grösseren Kohlensäuregehalt der Luft ohne Schaden vertrugen, während deren Epigonen sich den veränderten Verhältnissen accommodirten.

Die Resultate meiner Versuche, über welche ich in vorliegender Abhandlung referirte und die daraus mit aller Reserve gezogenen Schlüsse möchte ich in folgende zwei Sätze zusammenfassen:

1) In einer Atmosphäre, welche nur wenige Procent Kohlensäure enthält, ergrünen vergeilte Pflanzen nur unvollständig. Beträgt die Menge der Kohlensäure jedoch (bei ungeändertem Sauerstoffgehalte) 30 Procent oder mehr, so unterbleibt alles Wachsthum und die Pflanzen sterben ab.

2) Bei der (übrigens durch nichts bewiesenen) Voraussetzung, dass die Pflanzen früherer Erdperioden in einer an Kohlensäure viel reicheren Atmosphäre, als die jetzige ist, vegetirten, muss man annehmen, dass dieselben gegen das genannte Gas in weit geringerem Grade empfindlich waren, als deren heutige Nachkommen. Alle diese und andere Schwierigkeiten würden mit dem Nachweise der Unbegrenztheit der Atmosphäre entfallen.